

LES ZONES COTONNIÈRES AFRICAINES

DYNAMIQUES ET DURABILITÉ

Actes du Colloque de Bamako
Novembre 2017

Sous la Direction de :

Mamy SOUMARÉ
Michel HAVARD



PROTECTION INTÉGRÉE DE LA CULTURE COTONNIÈRE AU MALI : COMBINAISON ENTRE TRAITEMENTS SUR SEUIL ET ÉCIMAGE

TÉRÉTA Idrissa, *Institut d'Économie Rurale*

YALCOUYÉ Amagana, *Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles*

RENOU Alain, *Centre International en Recherche Agronomique pour le Développement*

Auteur correspondant : RENOU Alain, alain.renou@cirad.fr

RÉSUMÉ :

Pour réduire l'utilisation d'insecticides en culture cotonnière au Mali, deux stratégies de protection contre les insectes ravageurs ont été testées en 2015 et 2016 dans 6 villages avec 2 groupes de producteurs par village. Ces stratégies de protection comprenaient des interventions sur seuil contre les chenilles de la capsule et l'écimage de 100% ou de 20% des cotonniers. En 2015, une ou deux pratiques de gestion de l'eau et de la fertilité des sols leur étaient associées par groupe de producteurs, tandis qu'en 2016, aucune autre pratique ne leur était associée dans un des deux groupes. Le nombre de producteurs par groupe a varié de 3 à 5 en 2015 et de 4 à 5 en 2016. Chaque stratégie de protection fut appliquée sur 2 500 m² par producteur, les pratiques de protection du producteur l'étant sur 5 000 m² sans autre pratique. En 2015 comme en 2016, les deux stratégies de protection ont en moyenne réduit de plus de 60% l'utilisation d'insecticides. Elles ont aussi diminué les dégâts de ces ravageurs, mais de manière plus forte avec 100% plutôt qu'avec 20% de cotonniers écimés (respectivement de 36,5% et 24,9%) et principalement après l'écimage (réduction de 30,7% après l'écimage et de 20,9% avant l'écimage). L'intérêt de l'écimage pour la protection du cotonnier est confirmé et ses mécanismes d'action sont discutés. Enfin, avec une réduction des coûts de protection (en moyenne de 37,9%) et une augmentation du rendement (en moyenne de 14,8%), ces stratégies de protection mériteraient d'être diffusées avec ou sans pratiques de gestion de l'eau et de la fertilité des sols.

Mots clés : coton, Mali, protection intégrée, écimage, petites exploitations agricoles

ABSTRACT :

To reduce insecticide use on cotton in Mali, two pest management strategies were tested in 2015 and 2016 in 6 villages with 2 groups of farmers per village. Pest management strategies have included threshold-based sprays against bollworms and

100% or 20% of topped plants. In 2015, one or two management practices of water and of fertility of soils were associated to pest management strategies in each group of farmers, whereas in 2016 such practices were added inside one group. The number of farmers per group varied from 3 to 5 in 2015 and 4 to 5 in 2016. Each protection strategy was applied to 2 500 m² for each farmer while pest-control practices of producer were on 5 000 m² without other practice. In 2015 and 2016, both pest management strategies reduced the use of insecticides in average by more than 60%. They have also reduced pest injury but in a stronger way after than before plant topping (by 30.7% and 20.9% respectively), but also with 100% of topped plants than with 20% of topped plants (by 36.5% and 24.9% respectively). The benefit of cotton-topping for pest management is confirmed and mechanisms of action are discussed. Finally, with a reduction of pest management costs (in average by 37.9%) and a yield increase (in average by 14.8%), these pest management strategies should be disseminated with or without management practices of water and of fertility of soils.

Key words: cotton, Mali, IPM, topping, smallholders

INTRODUCTION

Partout dans le Monde, la culture cotonnière héberge de nombreux ravageurs qu'il faut contrôler pour garantir une bonne production en quantité comme en qualité (Matthews and Tunstall, 1994). Ce contrôle repose encore très largement sur l'emploi d'insecticides (de Blécourt *et al.*, 2010) dont il faut pourtant réduire l'utilisation en raison de leurs effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine d'autant que leur efficacité est régulièrement remise en cause par des acquisitions de résistance dans les populations de ravageurs (Kranthi *et al.*, 2002). On y parvient le plus souvent, avec ou sans cotonniers génétiquement modifiés, en ne les employant que lorsque les populations de ravageurs et/ou les dégâts qu'ils provoquent les justifient. Peu d'autres voies sont mises en œuvre à grande échelle.

Cette situation générale s'applique parfaitement à la culture cotonnière au Mali. Les ravageurs y entraînent en moyenne 37% de pertes de production s'ils ne sont pas contrôlés (Renou *et al.*, 2012), certaines populations sont devenues résistantes à des insecticides (Martin *et al.*, 2000) et si presque toutes les superficies sont protégées par des insecticides certains producteurs réalisent déjà des économies d'insecticides en pratiquant des traitements sur seuil (Renou *et al.*, 2012). L'écimage des cotonniers, qui réduit les populations de chenilles de la capsule au Mali (Téréta, 2015 ; Renou *et al.*, 2011), pourrait contribuer à cette réduction de l'utilisation d'insecticides. Son association à des interventions sur seuil a alors été évaluée en milieu producteur en 2015 et 2016. Les résultats de cette étude sont présentés dans cet article.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

LES SITES DE L'ÉTUDE

Cette étude a été conduite dans 6 villages de la zone cotonnière du Mali (Benguéné, Kafara, Katabantankoto, Kokélé, Nafégué et Ziguéna) où la pluviométrie annuelle cumulée a varié de 713 mm à 1 129 mm selon les villages et les années. Les sols y sont très sableux, très pauvres en matière organique et en potassium échangeable, déficients en phosphore mais suffisamment bien pourvus en calcium et en magnésium.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Modalités étudiées et dispositif

Deux nouvelles stratégies de protection (S1 et S2) ont été comparées aux pratiques de protection des producteurs (PP) avec deux groupes de producteurs différents chaque année dans chaque village : 3 à 5 producteurs par groupe en 2015 et 4 à 5 en 2016. Avec chaque producteur chaque nouvelle stratégie de protection était appliquée sur 2 500 m² alors que les pratiques de protection du producteur l'étaient sur 5 000 m² (Figure 1).

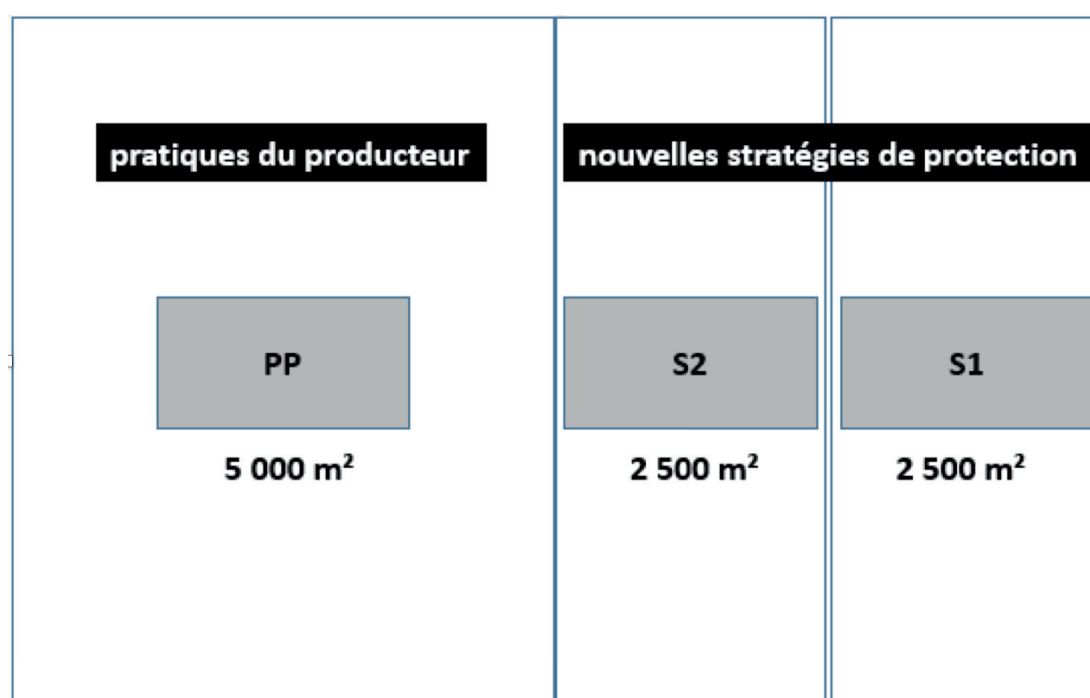


Figure 1 : *Implantation de l'étude chez un producteur*

Les nouvelles stratégies de protection comprenaient des interventions sur seuil contre les chenilles de la capsule et l'écimage de cotonniers. Par stratégie de protection, les interventions sur seuil, reposant sur l'observation hebdomadaire de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule, ont été réalisées chaque fois que 2 échantillons de 25 plants sur 3 avaient atteint ou dépassé le seuil de 4 plants avec des dégâts de ces ravageurs. Avec la stratégie S1 tous les cotonniers étaient écimés alors que seuls 20% des cotonniers devaient être écimés sur chaque ligne avec la stratégie S2 (écimage d'un cotonnier sur chaque ligne à chaque pas effectué en avançant entre deux lignes). Les écimages manuels (Figure 2) devaient être pratiqués 10 jours après l'apparition de la première fleur.

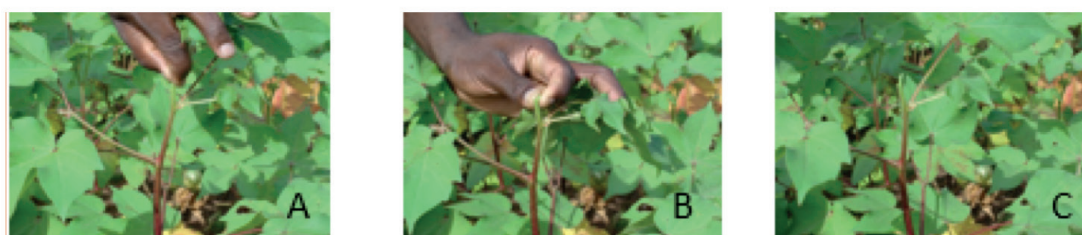


Figure 2 : *Ecimage d'un cotonnier commençant par (A) le pincement de la tige principale à son sommet, suivi de (B) sa section par écrasement et torsion pour avoir (C) un cotonnier écimé (source Renou Alain)*

En 2015, par groupe de producteurs dans chaque village, une ou deux pratiques de

gestion de l'eau et de la fertilité des sols étaient associées aux nouvelles stratégies de protection : apport de chaux (500 kg ha^{-1}) ou de Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT à 200 kg ha^{-1}) et aménagement en courbes de niveau (ACN). En 2016 cela n'a concerné qu'un seul groupe de producteurs dans chaque village. Enfin un nouveau semoir (Nafama) a été utilisé par un groupe de producteurs chaque année mais uniquement à Benguéné et Ziguéna.

Conduite des études

Les autres pratiques culturales devaient respecter les recommandations de la Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT). Les variétés diffusées par la CMDT ont été : STAM 59 A à Benguéné et Kokélé, STAM 279 A à Ziguéna, NTA 90 5 à Kafara, NTA 93 15 à Katabantankoto et NTA 90 5 en 2015 et STAM 279 A en 2016 à Nafégué. Ces variétés sont proches pour leur développement végétatif et leur fructification.

Au moins deux formulations insecticides différentes ont été utilisées par producteur au cours de chaque campagne pour respecter les règles régionales de gestion des populations d'*Helicoverpa armigera* Hübner résistantes aux pyréthrinoides (Martin *et al.*, 2005). La technique de pulvérisation à Très Bas Volume (TBV) à $10 \text{ litres ha}^{-1}$ a été majoritairement mise en œuvre.

Observations

Dans chaque partie (PP, S1 et S2) de chaque champ, les plants avec des dégâts de chenilles de la capsule ont été dénombrés de manière hebdomadaire du 30^{ième} au 114^{ième} jour après la levée (JAL) au niveau 3 échantillons de 25 plants. Le rendement en coton-graine y a été estimé à partir des récoltes du coton-graine produit au niveau de placettes de 10 lignes de 10 mètres (2 placettes en 2015 et 3 placettes en 2016) où les cotonniers écimés et non écimés ont été dénombrés. Les temps consacrés aux traitements, aux observations et à l'écimage des cotonniers ont été relevés mais uniquement en 2015.

ANALYSE DES RÉSULTATS

Les variables analysées ont été : les taux de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule par observation avant et après les écimages avec la transformation $\arcsin\sqrt{p}$, les coûts de protection et les rendements en coton-graine. Chaque producteur constituant une répétition d'un dispositif en blocs dispersés, les données ont d'abord été analysées par groupe de producteurs, par année et par village en utilisant le logiciel Statbox Pro Agri[®] de la société Grimmer Soft (89 rue du Gouverneur Felix Eboué, Issy les Moulineaux Cedex, France). Les résultats de ces premières analyses ont ensuite été utilisés pour effectuer, avec le même logiciel, des analyses de regroupement par ensemble de pratiques de gestion de l'eau et de la fertilité des

sols en tenant compte de l'emploi du semoir Nafama. Le test de Newman Keuls à 5% fut choisi pour comparer les moyennes qui, dans les figures, n'ont aucune lettre en commun si elles diffèrent significativement. Les degrés de liberté des différents ratios de Fisher, dont F_s pour la comparaison des stratégies de protection et F_i pour l'interaction entre stratégies de protection et groupes de producteurs, sont toujours précisés en indices dans le texte et les figures.

L'évaluation des coûts de protection en 2015 a reposé sur les bases suivantes appliquées à chaque partie de chaque champ :

- a) 4 133 F CFA (Franc de la Communauté Financière Africaine) le prix d'achat à crédit de l'insecticide nécessaire au traitement d'un hectare (source CMDT)
- b) 2,5 piles utilisées par hectare et par traitement (source CMDT)
- c) 175 F CFA pour l'achat d'une pile (marque Masa[®])
- d) le temps consacré à la réalisation des traitements
- e) le nombre de traitements réalisés
- f) le temps consacré par personne à toutes les observations de 3 échantillons de 25 plants
- g) le temps consacré par une personne à l'écimage des cotonniers
- h) 1 000 F CFA le salaire d'une personne par jour (5 heures de travail)

Pour compléter ces analyses, les résultats obtenus par producteur avec les stratégies S1 et S2 au cours des 2 années dans les 6 villages ont été analysés avec le même logiciel suivant un dispositif en couples puisque toutes les autres pratiques étaient identiques par producteur.

Enfin, la proportionnalité de certains effets de l'écimage aux taux de cotonniers écimés a été testée avec les résultats 2016 sans pratique de gestion de l'eau et de la fertilité des sols ni l'utilisation du semoir Nafama. Par la méthode des couples, la valeur observée après les écimés dans la partie S2 de chaque champ (observé S2) a alors été comparée à celle calculée (calculé S2) à partir du taux de plants réellement écimés ($\tau S2$) et des valeurs observées dans les parties PP et S1 (observé PP et observé S1) du même champ au cours de la même période avec leurs taux respectifs de cotonniers écimés (τPP et $\tau S1$). La formule a été la suivante :

$$\text{calculé S2} = \text{observé PP} - \frac{(\text{observé PP} - \text{observé S1}) \times (\tau S2 - \tau PP)}{(\tau S1 - \tau PP)}$$

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Respectivement pour 2015 et 2016, les semis ont été réalisés le 20 juin \pm 2,4 jours

et le 18 juin $\pm 1,8$ jour, les écimages au 66^{ième} JAL $\pm 1,3$ jour et au 56^{ième} JAL $\pm 1,4$ jour et les taux de cotonniers écimés de 97,0% $\pm 1,9\%$ et de 93,0% $\pm 1,7\%$ avec la stratégie S1 et de 37,0% $\pm 3,1\%$ et de 32,0% $\pm 3,1\%$ avec la stratégie S2.

TAUX DE PLANTS AVEC DES DÉGÂTS DE CHENILLES DE LA CAPSULE PAR OBSERVATION

Avant l'écimage des cotonniers, les stratégies S1 et S2 ont réduit, en moyenne et respectivement, de 20,6% et 21,1% le taux de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule par rapport aux pratiques des producteurs (Figure 3). Mais des différences significatives en leur faveur n'apparaissent qu'avec un ensemble de pratiques de gestion de l'eau et de la fertilité des sols (Figure 3). Les stratégies S1 et S2 ont eu la même efficacité pendant cette période : 2,3% de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule avec S1 vs 2,2% avec S2 ($F_{(1/114)} = 0,25$; $p = 0,622$).

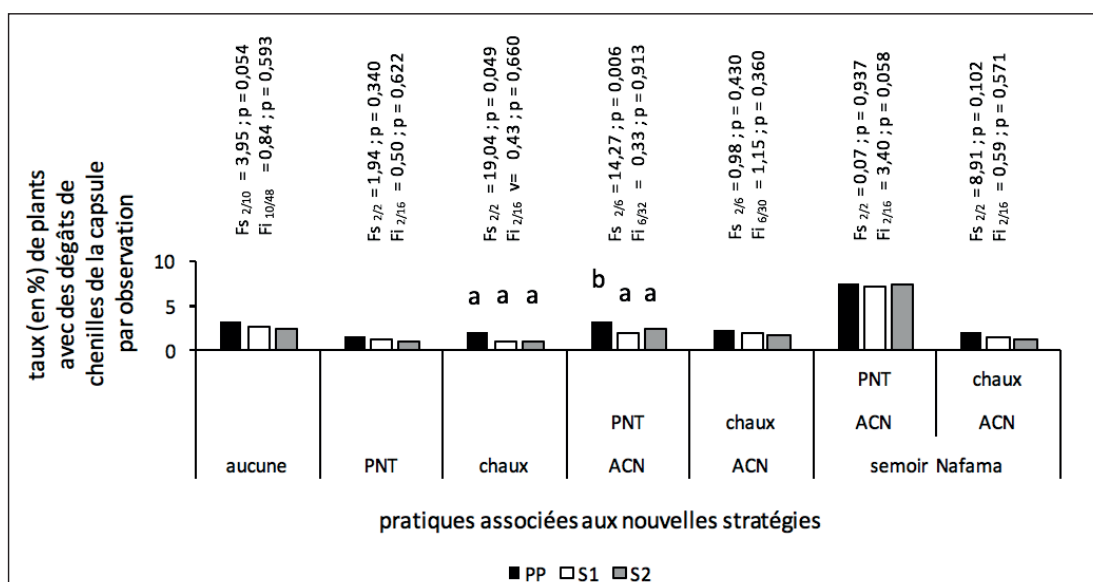


Figure 3 : Effet moyen des stratégies de protection sur le taux de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule avant l'écimage de cotonniers selon les pratiques associées

Après l'écimage des cotonniers, les stratégies S1 et S2 ont réduit, en moyenne et respectivement, de 36,5% et 24,9% le taux de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule par rapport aux pratiques des producteurs (Figure 4). Mais des différences significatives en leur faveur n'apparaissent qu'avec un ensemble de pratiques de gestion de l'eau et de la fertilité des sols et en l'absence d'autre pratique (Figure 4). La stratégie S1 est plus efficace pendant cette période : 2,9% de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule vs 3,5% avec S2 ($F_{(1/114)} = 28,02$ et $p < 0,001$).

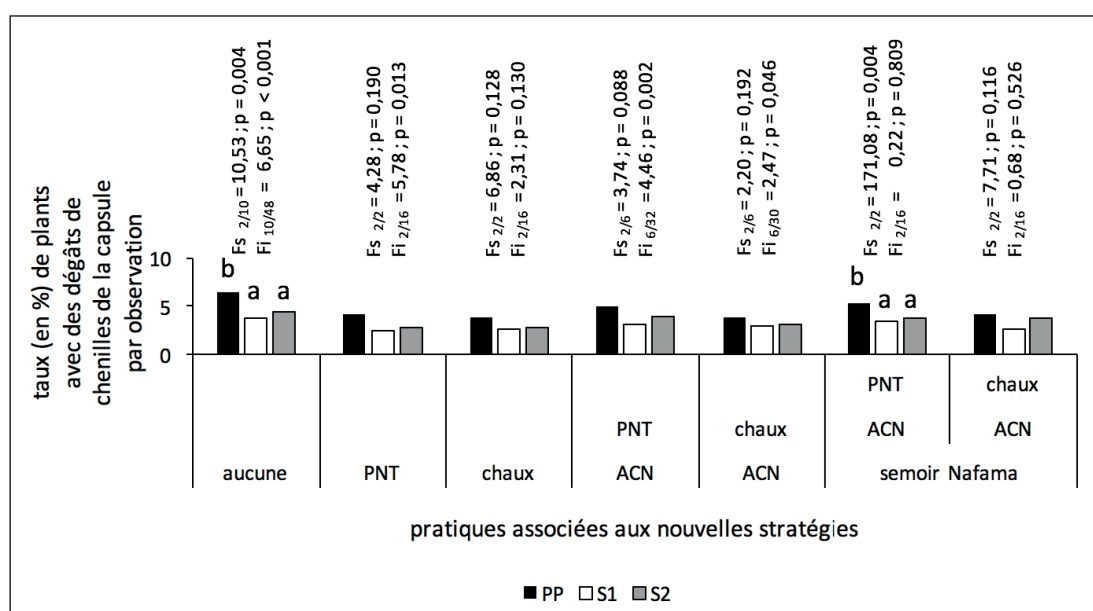


Figure 4 : Effet moyen des stratégies de protection sur le taux de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule après l'écimage de cotonniers selon les pratiques associées

Pour les pratiques de gestion de l'eau et de la fertilité des sols étudiées, aucune référence bibliographique n'a été trouvée sur leurs effets éventuels vis-à-vis des chenilles de la capsule. En 2016, les réductions de taux de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule obtenues avec les stratégies S1 et S2 ont été en moyenne légèrement plus faibles lorsqu'elles ont été associées à d'autres pratiques : 13,2% vs 18,1% avant l'écimage et 24,4% vs 31,0% après l'écimage. Ces réductions de taux de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule pourraient donc n'être attribuables qu'aux nouvelles stratégies. Les différences de réduction du taux de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule entre les stratégies S1 et S2 ne sont significatives qu'après les écimages et la réduction du taux de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule est plus forte après qu'avant l'écimage. Ces deux résultats suggèrent un rôle important de l'écimage.

En 2016, le taux de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule observé après les écimages avec la stratégie S2 sans pratique associée a été en moyenne significativement plus faible que celui calculé : 4,5% vs 5,6% - $F_{(1/28)} = 19.64$ - $p < 0,001$. Ainsi les effets de l'écimage vis-à-vis des chenilles de la capsule ne se limiteraient pas aux seuls cotonniers soumis à cette pratique comme l'avait déjà observé Téréta (2015).

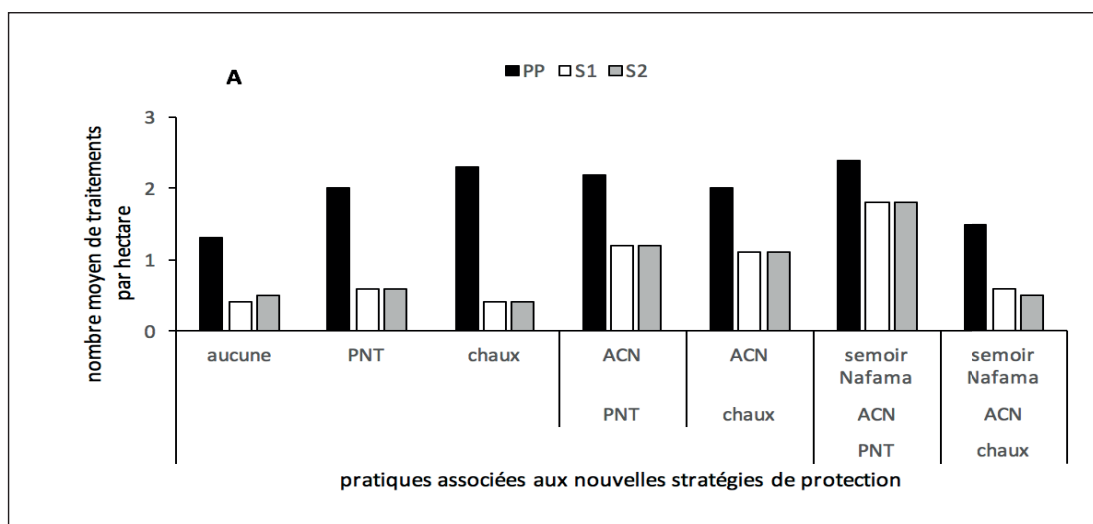
L'intervention de composés volatils en provenance de cotonniers écimés, agissant de manière directe (répulsion) ou indirecte (attraction d'auxiliaires) et comme alarme pour d'autres cotonniers afin qu'ils reproduisent les mêmes émissions est suspectée dans ces effets (Marchand, 2012). La littérature ne s'oppose pas à ces hypothèses : des blessures mécaniques peuvent provoquer des émissions de composés volatils

chez les plantes (Kikuta et al., 2011 ; Piesik et al., 2010 ; Raghava et al., 2010 ; Opitz et al., 2008), qui peuvent être répulsives vis-à-vis de ravageurs (Zakir et al., 2013 ; Moraes et al., 2001) et/ou attractives vis-à-vis d'auxiliaires (Kappers et al., 2010 ; Sznajder et al., 2010 ; Liu Yong et al., 2009) et la communication entre plants par des composés volatils est actuellement bien admise (Kikuta et al., 2011 ; Piesik *et al.*, 2010 ; Kost et Heil, 2006).

Les interactions entre types de protection et groupes de producteurs uniquement significatives après les écimages de cotonniers (Figure 3 vs Figure 4) résultent probablement de variations de l'efficacité de cette pratique. Après l'écimage, les réductions relatives du taux de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule avec les stratégies S1 et S2 par rapport aux pratiques des producteurs, sont effectivement liées à la quantité de pluie reçue au cours des 30 jours qui suivent l'écimage : $F_{(1/94)} = 12,10$ - $p = 0,001$ - $r = 0,339$ avec S1 et $F_{(1/94)} = 16,67$ - $p < 0,001$ - $r = 0,390$ avec S2. Ainsi pour des pluviométries cumulées au cours des 30 jours qui suivent l'écimage respectivement inférieures et supérieures à 150 mm, les réductions relatives du taux de plants avec des dégâts de chenilles de la capsule ont été de 13,6% et 38,3% (T de Student₍₉₃₎ = 2,80 ; $p = 0,006$) avec S1 et de 16,1% et 31,1% (T de Student₍₉₃₎ = 2,53 ; $p = 0,013$) avec S2.

NOMBRE DE TRAITEMENTS INSECTICIDES

Avant l'écimage des cotonniers et par rapport aux pratiques des producteurs, les mêmes économies d'insecticides (55,5%) sont procurées en moyenne par les stratégies S1 et S2 et elles diffèrent rarement entre elles (Figure 5 A). Après l'écimage des cotonniers, les économies moyennes d'insecticides procurées par les stratégies S1 et S2 sont voisines (72,5% avec S1 et 68,3% avec S2) car elles diffèrent toujours faiblement entre elles (Figure 5 B).



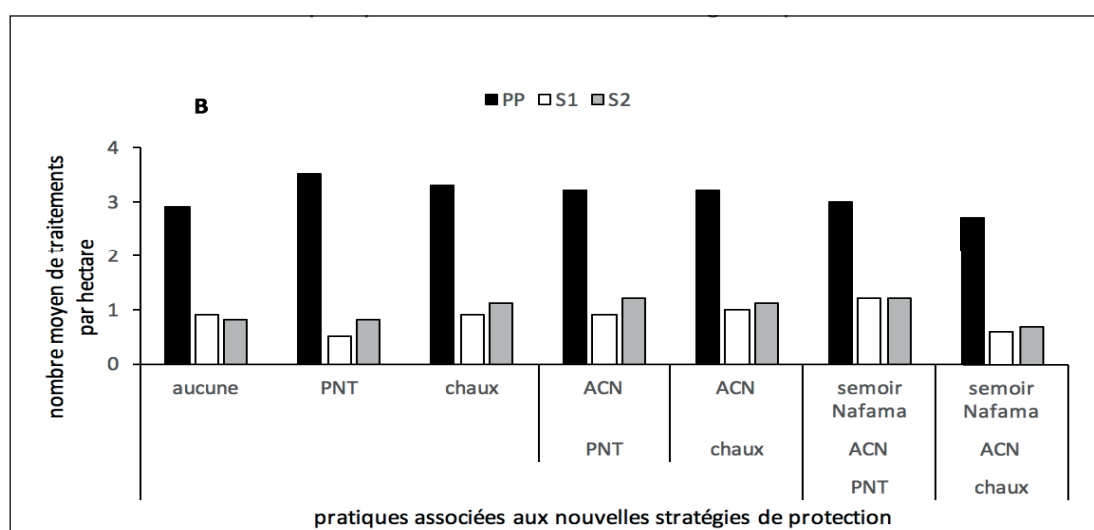


Figure 5 : Effet des types de protection sur le nombre moyen de traitements réalisés par hectare avant l'écimage de cotonniers (A) et après l'écimage des cotonniers (B) selon les pratiques associées En 2016, les réductions moyennes de l'utilisation d'insecticides avec les stratégies S1 et S2 sont comparables avec et sans pratique associée : 66,1% et de 64,0% sur l'ensemble de la campagne. Elles ne sont donc attribuables qu'aux nouvelles stratégies. La réduction de plus de 60% de l'utilisation d'insecticides est satisfaisante mais, elle est inférieure aux 72% d'économies réalisées par les producteurs pratiquant déjà des interventions sur seuil (Renou *et al.*, 2012). La réduction plus importante de l'utilisation d'insecticides après qu'avant les écimages n'est attribuable qu'à l'écimage car une interaction entre traitements sur seuil et écimage est peu probable : une seule intervention sur seuil est en moyenne réalisée après les écimages alors que la période qui suit les écimages dure plus de 6 semaines.

COÛTS DE PROTECTION

En 2015, le temps consacré à l'observation de 3 échantillons de 25 plants a été en moyenne de 44 ± 6 minutes pour une personne et celui consacré à l'écimage par hectare par une personne de $1\,926 \pm 307$ minutes (un peu plus de 6 jours) pour S1 et de 871 ± 125 minutes (près de 3 jours) pour S2.

En moyenne les stratégies S1 et S2 ont réduit respectivement de 32,1% et de 43,8% les coûts de protection par rapport aux pratiques des producteurs (Figure 6). Ces effets sont significatifs avec respectivement 3 et 4 ensembles de pratiques de gestion de l'eau et de la fertilité des sols (Figure 6). Les coûts de protection de S2 sont significativement plus faibles que ceux de S1 : 15 500 F CFA ha⁻¹ vs 18 500 F CFA ha⁻¹ ($F(1/56) = 27,19 - p < 0,001$). Les nouvelles stratégies réduisent les charges en intrants (piles mais surtout insecticides), mais augmentent celles en main d'œuvre, surtout du fait des écimages (Figure 7).

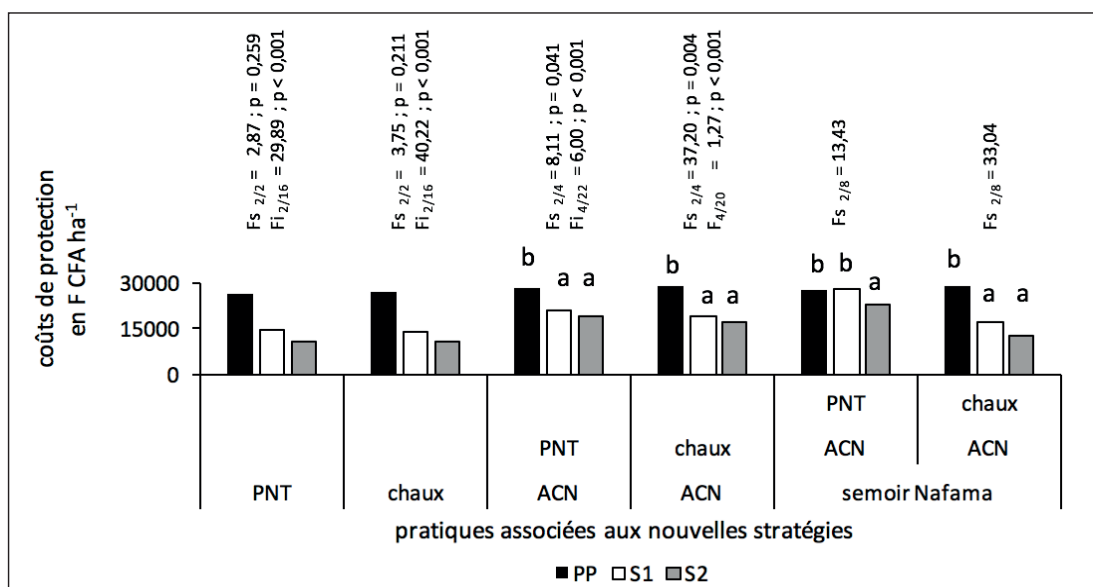


Tableau 6 : Coût moyen de protection par stratégie de protection selon les pratiques associées

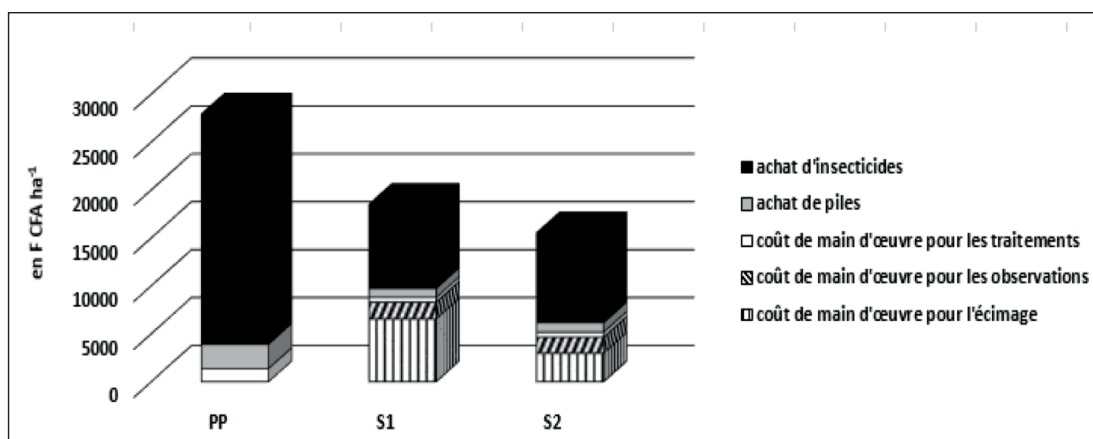


Figure 7 : Détails sur les coûts de protection par stratégie de protection

RENDEMENT EN COTON-GRAINE

En moyenne par rapport aux pratiques des producteurs, les stratégies S1 et S2 ont respectivement augmenté le rendement en coton-graine de 18,8% et 10,9% (Figure 8). Avec ces effets positifs sur les rendements les nouvelles stratégies sont donc plus intéressantes que les seuls traitements sur seuil (Renou *et al.*, 2012). Ces augmentations de rendement ne sont toutefois significatives qu'en l'absence de toute pratique et respectivement avec un et deux ensembles de pratiques de gestion de l'eau et de la fertilité des sols pour S2 et S1 (Figure 8). Les performances productives de la stratégie S1 sont significativement supérieures à celles de la stratégie S2 : 1250 kg ha⁻¹ avec la stratégie S2 contre 1350 kg ha⁻¹ avec la stratégie S1 ($F_{(1/114)} = 32,05 - p < 0,001$).

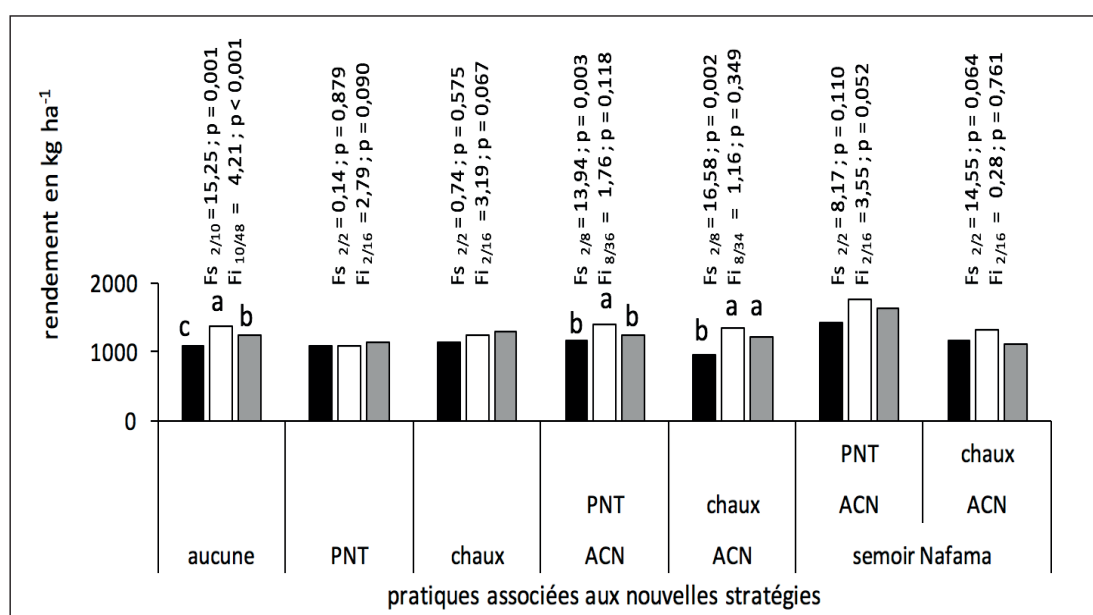


Figure 8 : Rendement moyen en coton-graine par stratégie de protection selon les pratiques associées

En 2016 par rapport aux pratiques de producteurs, les augmentations de rendement procurées en moyenne par les stratégies S1 et S2 sont comparables avec et sans pratique associée : 22,6% et 22,4%, respectivement. Ces stratégies ont donc joué un rôle important dans les augmentations de rendement. La différence significative de rendement entre les deux stratégies plaide en faveur d'un rôle essentiel de l'écimage dans les augmentations de rendement. La littérature mentionne souvent des effets positifs de l'écimage sur le rendement en coton graine (Obasi et Msaakpa, 2005 ; Reta-Sanchez et Fowler, 2002 ; Abou-El-Nour *et al.*, 2001). Les résultats de cette étude le montrent pour la première fois au Mali car en station de recherche cet effet de l'écimage n'a jamais été observé auparavant (Renou *et al.*, 2011).

Les augmentations de rendement procurées par la stratégie S1 sont liées négativement et significativement à la date d'apport de l'urée : $F_{(1/113)} = 17,13 - p < 0,001$ - $r = -0,365$. Ainsi l'augmentation de rendement est significativement plus élevée lorsque l'urée est apportée en même temps que l'engrais complet : 356 kg ha⁻¹ contre 168 kg ha⁻¹ lorsque l'apport de l'urée est différé dans le temps (T de Student₍₁₀₉₎ = 3,51 - p < 0,001). Cette liaison pourrait être à l'origine de l'absence d'augmentation significative de rendement due à l'écimage constatée dans les études antérieures où l'urée a toujours été apportée au moment du buttage (50-60 JAL).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Un dispositif avec moins d'associations de pratiques aurait été préférable pour étudier les nouvelles stratégies de protection. Il aurait été aussi plus rigoureux d'avoir des superficies identiques pour chaque partie de champ et deux répétitions par

producteur. Mais, l'aspect démonstratif de cette étude aurait été moindre pour les producteurs. Ce dispositif a toutefois permis d'étudier deux nouvelles stratégies de protection sur de grandes surfaces (limitant ainsi les interactions entre parcelles et les phénomènes de non-préférence) dans une grande diversité de conditions.

Dans cette diversité de conditions, par rapport aux pratiques de producteurs les nouvelles stratégies de protection ont en moyenne procuré plus de 60% d'économies d'insecticides, diminué de plus de 20% les dégâts dus aux chenilles de la capsule et augmenté de plus de 10% le rendement en coton graine avec des coûts de protection réduits de plus de 30%. Avec de tels avantages ces nouvelles stratégies de protection, en association ou non à d'autres pratiques, mériteraient d'être diffusées. Il conviendra alors d'être attentif à la conservation de leurs avantages dans chaque situation et de suivre les modifications éventuelles de l'entomofaune déprédatrice sans se limiter à la seule culture cotonnière.

L'écimage des cotonniers semble jouer un rôle essentiel dans les avantages des nouvelles stratégies de protection. Son association à des interventions sur seuil reste toutefois indispensable car : (i) elles ont contribué à certains avantages, (ii) sont nécessaires avant l'écimage et (iii) constituent un «garde-fou» vis-à-vis de populations plus élevées en chenilles de la capsule. Des améliorations de ces nouvelles stratégies de protection sont à rechercher car si leurs effets bénéfiques ont bénéficié à un très grand nombre de producteurs, ils ne sont pas apparus avec tous les producteurs. Il convient d'identifier les conditions dans lesquelles les effets bénéfiques de ces nouvelles stratégies de protection apparaissent pour élaborer des conseils destinés aux producteurs qui les mettront en œuvre. L'écimage jouant un rôle important dans les effets de ces nouvelles stratégies de protection, une meilleure connaissance des mécanismes responsables de ses effets contribuera à cette approche. Enfin, une amélioration mériterait d'être étudiée rapidement en milieu producteur : l'écimage de tous les cotonniers d'une ligne toutes les 5 lignes pour ramener à peine plus d'un jour par hectare le temps consacré à l'écimage par une personne.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'Agence Française pour le Développement (AFD) pour avoir financé cette étude et aux producteurs pour avoir partagé cette expérience. Nous dédions cette communication à Maurice Vaissayre et à Michel Fok qui nous ont toujours encouragés dans nos nouvelles approches de la protection du cotonnier.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABOU-EL-NOUR, M.S., WASSEL, O.M.M., ISMAIL, S.M. 2001. Response of Giza 80 cotton cultivar to some cultivar practices to control excessive vegetative growth. *Egyptian Journal of Agricultural Research*. 79, 191-204.
- DE BLÉCOURT, M., LAHR, J., VAN DEN BRINK, P. J. 2010. Pesticide use in cotton in Australia, Brazil, India, Turkey and USA. *Alterra, Wageningen*, 2010. 144 pp
- KAPPERS, I. F., VERSTAPPEN, F. W. A., LUCKERHOFF, L. L. P., BOUWMEESTER, H. J., DICKE, M., 2010. Genetic variation in jasmonic acid- and spider mite-induced plant volatile emission of cucumber accessions and attraction of the predator *Phytoseiulus persimilis*. *Journal of Chemical Ecology*. 36, 500-512.
- KIKUTA, Y., UEDA, H., NAKAYAMA, K., KATSUDA, Y., OZAWA, R., TAKABAYASHI, J., HATANAKA, A., MATSUDA, K. 2011. Specific regulation of pyrethrin biosynthesis in *Chrysanthemum cinerariaefolium* by a blend of volatiles emitted from artificially damaged conspecific plants. *Plant and Cell Physiology*; 2011. 52(3):588-596.
- KOST, C., HEIL, M. 2006. Herbivore-induced plant volatiles induce an indirect defence in neighbouring plants. *Journal of Ecology* 94: 619–628.
- KRANTHI KR, JADHAV DR, KRANTHI S, WANJARI RR, ALI SS, RUSSELL DA (2002) Insecticide resistance in five major insect pests of cotton in India. *Crop Protection* 21: 449–460
- LIU YONG, WANG WANLEI, GUO GUANGXI, JI XIANGLONG, 2009. Volatile emission in wheat and parasitism by *Aphidius avenae* after exogenous application of salivary enzymes of *Sitobion avenae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 130, 215-221.
- MARCHAND, M. 2012. Influence de l'écimage sur les profils de composés volatils émis par le cotonnier et réponses des Noctuelles *Helicoverpa armigera* et *Spodoptera littoralis*. Master Ecologie-Biodiversité 1^{ière} année parcours Biodiversité Végétale Tropicale. Année universitaire 2011-2012. 54 pp
- MARTIN, T., OCHOU OCHOU, G., HALA N'KOLO, F., VASSAL, J.M., VAISSAYRE, M., 2000. Pyrethroid resistance in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner), in West Africa. *Pest Management Science*, 56 : 549-554.
- MARTIN, T., OCHOU, G.O., DJIHINTO, A., Traoré, D., Togola, M., Vassal, J.M., Vaissayre, M., Fournier, D. (2005). Controlling an insecticide-resistant bollworm in West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107: 409–411.
- MATTHEWS GA, TUNSTALL JP (1994) *Insect Pests of Cotton*, CAB International, Wallingford. 593 pp
- MORAES, C.M., MESCHER M.C., TUMLINSON, J.H. 2001. Caterpillar-induced nocturnal plant volatiles repel conspecific females. *Nature* 410: 577-580.
- OBASI, M. O., MSAAKPA, T. S. 2005. Influence of topping, side branch pruning and hill spacing on growth and development of cotton (*Gossypium barbadense* L.) in the Southern Guinea Savanna location of Nigeria. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. 106, 155-165.
- OPITZ, S., KUNERT, G., GERSHENZON, J. 2008. Increased Terpenoid Accumulation in cotton (*Gossypium hirsutum*) Foliage is a General Wound Response *Journal of Chemical Ecology* 34, 508-522.
- PIESIK, D., LYSZCZARZ, A., TABAKA, P., LAMPARSKI, R., BOCLANOWSKI, J., DELANEY, K. J. 2010. Volatile induction of three cereals: influence of mechanical injury and insect herbivory on injured plants and neighbouring uninjured plants. *Annals of Applied Biology*; 2010. 157(3):425-434.

- RAGHAVA, T., PUJA RAVIKUMAR RAJENDRA HEGDE ANIL KUSH. 2010. *Spatial and temporal volatile organic compound response of select tomato cultivars to herbivory and mechanical injury. Plant Science*; 179(5):520-526
- RENOU, A., TÉRÉTA, I., TOGOLA, M. BRÉVAULT, T. 2012. *First steps towards « green » cotton in Mali. 2012. Outlook on Pest Management. August 2012*, 173-176
- RENOU, A., TÉRÉTA, I., TOGOLA, M. 2011. *Manual topping decreases bollworm infestations in Mali. Crop Protection. 30*, 1370-1375.
- RETA-SANCHEZ, D.G., FOWLER, L.J. 2002. *Canopy light environment and yield of narrow-row cotton as affected by canopy architecture. Agronomy Journal. 94*, 1317-1323.
- SZNAJDER, B., SABELIS, M.W., EGAS, M. 2010. *Response of predatory mite to herbivore-induced plant volatile: Genetic variation for context-dependent behaviour. Journal of Chemical Ecology. 36 (7)*, 680-688.
- TÉRÉTA, I. 2015. *Contribution aux études pour l'évolution de la protection phytosanitaire en culture cotonnière au Mali: effets de l'écimage sur les infestations en chenilles de la capsule. Thèse de doctorat à l'Université des Sciences, des techniques et des Technologies de Bamako. 169 pp*
- ZAKIR A, SADEK M.M., BENGTSSON M, HANSSON B.S., WITZGALL P., ANDERSON P. 2013. *Herbivore-induced plant volatiles provide associational resistance against an ovipositing herbivore. Journal of Ecology 101*: 410–417.